

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 5 H 1/46	C	9014-2G		
C 2 3 F 4/00	D	8417-4K		
H 0 1 L 21/205				
			H 0 1 L 21/ 302	B
			21/ 31	C
審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 6 頁) 最終頁に続く				

(21) 出願番号 特願平6-46821

(22) 出願日 平成6年(1994)3月17日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 渡辺 成一

茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日立製作所機械研究所内

(72) 発明者 古瀬 宗雄

茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日立製作所機械研究所内

(72) 発明者 白米 茂

茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日立製作所機械研究所内

(74) 代理人 弁理士 小川 勝男

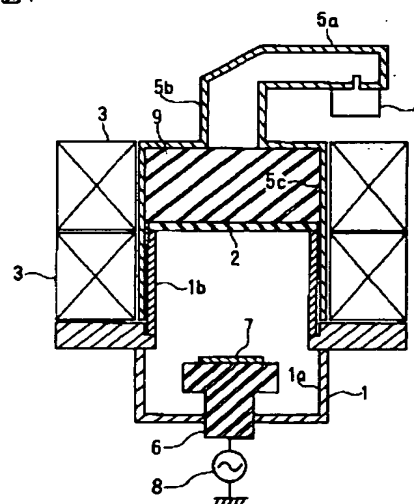
## (54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置

## (57) 【要約】

【構成】 マイクロ波を利用したプラズマ処理装置において、導波管5内のマイクロ波が伝送される方向と垂直な断面全部あるいは該断面の一部に、比誘電率 $\epsilon_r$ が1より大きい誘電体9を設けるよう構成した。

【効果】 誘電体内でのマイクロ波の波長は空気中のマイクロ波の波長の $1/\sqrt{\epsilon_r}$ 倍となるので、マイクロ波の伝送部を小型化することが可能になった。

図1



- 1 … 処理室
- 1a … 容器
- 2 … 石英窓
- 5a, 5b, 5c … 導波管
- 6 … 試料台
- 9 … 誘電体

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 マイクロ波を利用したプラズマ発生装置と減圧可能な処理室とガス供給装置と真空排気装置より成るプラズマ処理装置において、導波管内のマイクロ波が伝送される方向と垂直な断面全部あるいは該断面の一部に、比誘電率が1より大きい誘電体を設けたことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項2】 請求項1記載のプラズマ処理装置において、誘電体が液体あるいは流動性の固体であるプラズマ処理装置。

【請求項3】 請求項1記載のプラズマ処理装置において、マイクロ波を利用したプラズマ発生装置におけるマイクロ波の周波数を0.2～1.2GHzとしたプラズマ処理装置。

【請求項4】 マイクロ波を利用したプラズマ発生装置と減圧可能な処理室とガス供給装置と真空排気装置より成るプラズマ処理装置において、プラズマ発生に使用する周波数のマイクロ波を伝送できない大きさの空洞の導波管内に比誘電率が1より大きい誘電体を設け、導波管内をマイクロ波が伝送できるようにしたことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項5】 請求項4記載のプラズマ処理装置において、誘電体が液体あるいは流動性の固体であるプラズマ処理装置。

【請求項6】 請求項4記載のプラズマ処理装置において、マイクロ波を利用したプラズマ発生装置におけるマイクロ波の周波数を0.2～1.2GHzとしたプラズマ処理装置。

【請求項7】 周波数0.2～1.2GHzのマイクロ波を利用したプラズマ発生装置と減圧可能な処理室とガス供給装置と真空排気装置より成るプラズマ処理装置において、マイクロ波空洞共振器の壁面の一部にスロットアンテナが設けられ、該スロットアンテナより放射されるマイクロ波によりプラズマが生成されることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項8】 周波数0.2～1.2GHzのマイクロ波を利用したプラズマ発生装置と減圧可能な処理室とガス供給装置と真空排気装置より成るプラズマ処理装置において、TE<sub>01</sub>モードのマイクロ波を処理室内に導入し、プラズマを生成することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項9】 周波数0.2～1.2GHzのマイクロ波を利用したプラズマ発生装置と減圧可能な処理室とガス供給装置と真空排気装置より成るプラズマ処理装置において、処理室に接続された導波管または共振器と整合器との間を同軸構造で接続すること、あるいは該整合器とマイクロ波を発生させる電源との間を同軸構造で接続することを特徴とするプラズマ処理装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明はプラズマ処理装置に係り、特に半導体素子基板等の試料をプラズマを利用してエッチング処理及び成膜処理等するのに好適なプラズマ処理装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 工業周波数に指定されているためよく使用される2.45GHzの周波数よりも低い周波数のマイクロ波を利用したプラズマ処理装置は、例えば、特開平3-238800号公報に記載のように、空洞の導波管によりマイクロ波を処理室内に導入し、プラズマを生成するよう構成されていた。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】 上記従来技術は、導波管内を伝播するマイクロ波の波長の大きさ、及びマイクロ波を伝送する導波管のマイクロ波伝送方向に垂直な断面の大きさの点について配慮がされていなかった。通常使用される2.45GHzの周波数よりも低い周波数のマイクロ波を使用した場合、導波管内を伝播するマイクロ波の波長は、2.45GHzの周波数のマイクロ波の波長よりも長くなる。このため、装置がマイクロ波の伝送方向に大きくなるという問題点があった。また、2.45GHzの周波数よりも低い周波数のマイクロ波を使用した場合、マイクロ波を伝送する導波管のマイクロ波の伝送方向に垂直な断面の大きさは、2.45GHzの周波数のマイクロ波を伝送する導波管の場合と比較して、大きくなるという問題点があった。

【0004】 本発明は、マイクロ波の伝送部を小型にすることが可能なプラズマ処理装置を提供することを目的とする。

## 【0005】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成するために、導波管内のマイクロ波が伝送される方向と垂直な断面全部あるいは該断面の一部に、比誘電率が1より大きい誘電体を設けたものである。

## 【0006】

【作用】 導波管内に設けた誘電体の比誘電率を $\epsilon_r$ とすると、誘電体内でのマイクロ波の波長は、空気中のマイクロ波の波長の $1/\sqrt{\epsilon_r}$ 倍となる。したがって、 $\epsilon_r > 1$ の誘電体を導波管内に設けることにより、マイクロ波の伝送部を小型化することが可能である。

## 【0007】

【実施例】 以下、本発明の一実施例を図1により説明する。図1は、本発明の一実施例である有磁場マイクロ波ドライエッチング装置を示す。容器1a、放電管1b及び石英窓2で区画された処理室1の内部を真空排気装置（図示省略）により減圧した後、ガス供給装置（図示省略）によりエッチングガスを処理室1内に導入し、所望の圧力に調整する。また、処理室1はコイル3により生成される磁場領域内にある。マグネトロン4より発した、例えば、0.915GHzのマイクロ波は導波管5

a, 5 b, 5 c 内を伝播し、石英窓 2 を透過して処理室 1 内に入射される。このマイクロ波によって生成されたプラズマにより、試料台 6 に載置された被処理材のウエハ 7 がエッチング処理される。また、ウエハ 7 のエッチング形状を制御するため、試料台 6 には、整合器（図示省略）を介して高周波電源 8 が接続され、高周波電圧が印加される。

【0008】本実施例の場合、導波管 5 c 内に比誘電率  $\epsilon_r = 2.1$  のテフロンを用いた誘電体 9 を設けている。導波管 5 c に誘電体 9 を設けない場合と比較して、誘電体 9 中でのマイクロ波の波長は  $1/\sqrt{\epsilon_r} = 0.69$  倍になる。このため、導波管 5 c 内に誘電体 9 を設けることにより導波管 5 c の大きさ（この場合マイクロ波の進行方向の長さ）を 0.69 倍に短縮できる。テフロン以外にも比誘電率が 1 より大きい誘電体 9、例えば、アルミナセラミックス（ $\epsilon_r = 8.5$ ）や石英（ $\epsilon_r = 3.8$ ）を用いてもよい。本実施例によれば、導波管内

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{\epsilon\mu}} \left\{ \left( \frac{n\pi}{a} \right)^2 + \left( \frac{m\pi}{b} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad \text{--- 数 1}$$

【0011】ここで、 $\epsilon$  は誘電率、 $\mu$  は透磁率である。真空中での誘電率を  $\epsilon_0$  とすると  $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$  であるので、導波管内に比誘電率  $\epsilon_r$  の誘電体を設けると、遮断周波数  $f_c$  は  $1/\sqrt{\epsilon_r}$  倍になる。したがって、誘電体を設けない場合には、遮断周波数より小さい周波数であるため伝送できないマイクロ波でも、誘電体を設けることにより遮断周波数が  $1/\sqrt{\epsilon_r}$  倍となるため、マイクロ波を伝送できる場合があり、すなわち導波管の遮断も誘電体を設けることにより小さくできる。円形導波管等各種導波管でも、矩形導波管と同様に誘電体を設けることにより導波管の断面を小さくすることができる。また、前述の例では、導波管内のマイクロ波が伝送される方向と垂直な断面全部に誘電体を設ける場合について述べたが、該断面の一部のみに誘電体を設けてもよい。さらに、前述の例では固体の誘電体を使用していたが、非分極性の液体の誘電体、例えばシリコンオイル（ $\epsilon_r = 2.2$ ）を使用してもよい。3 スタブチューナあるいは EH チューナ等可動部がある部分には、液体の誘電体を使用するのが便利である。

【0012】本発明の第 3 の実施例を図 3 及び図 4 により説明する。周波数 0.2 ~ 1.2 GHz のマイクロ波を使用する場合には、マイクロ波の波長は 2.45 GHz の場合より長くなる（無限空間での波長の場合、0.2 GHz では 2.2 倍、1.2 GHz では 2.04 倍となる。）ので、マイクロ波伝送部の小型化が実用上重要である。また、周波数 0.2 GHz 以下では減衰が大きいためマイクロ波を導波管を用いて伝送することが難しく、実用上、（均一性を得る上で）放電管 1 b の径よりもウエハ 7 の径が小さい方が望ましい。

に比誘電率  $\epsilon_r$  が 1 より大きい誘電体を設けたことにより、誘電体内でのマイクロ波の波長が  $1/\sqrt{\epsilon_r}$  倍になるので、それだけマイクロ波の伝送部を小型にすることができるといふ効果がある。

【0009】本発明の第 2 の実施例を図 2 により説明する。本実施例では、比誘電率  $\epsilon_r$  が 1 より大きいテフロンを用いた誘電体 9 を導波管 5 a 及び 5 b 内に設けている。これにより、第 1 の実施例と同様にマイクロ波の伝送部を小型にすることができるといふ効果がある。また、誘電体 9 を導波管 5 a, 5 b 内に設けることにより導波管の遮断周波数を小さくすることができる。例えば、導波管 5 a, 5 b の断面の各辺の長さが a, b である矩形導波管における TE<sub>nm</sub> モードのマイクロ波の遮断周波数  $f_c$  は以下のように記述される。

【0010】

【数 1】

【0013】円形導波管の場合、遮断周波数  $f_c$  は、導波管の半径を a、光速を c として、下記のように表される。

【0014】

【数 2】

$$f_c = \frac{u_{nm}' c}{2\pi a} \quad \text{--- 数 2}$$

【0015】ここで、TE<sub>11</sub> モードの場合  $u_{nm}' = 1.841$  である。ウエハ 7 の直径を 6 インチとし、放電管 1 b の直径が 6 インチ相当以上とすると、円形 TE<sub>11</sub> モードしか伝播できないマイクロ波は、周波数が 1.2 GHz 以下である必要がある。したがって、周波数 0.2 ~ 1.2 GHz のマイクロ波を使用することが望ましい。

【0016】本実施例の場合、マグネトロン 4 から発振された、例えば、周波数 0.915 GHz のマイクロ波は、導波管 5 a, 5 b 内を伝播し、共振器 9 に導入される。共振器 9 の底面に図 4 に示すスロットアンテナ 10 が設けられている。スロットアンテナ 10 より放射されたマイクロ波が導波管 5 d 及び石英窓 2 を通過し、処理室 1 内に入射されプラズマが生成される。本実施例の場合、共振器 9 構造を有しているので、マイクロ波の伝送方向に対して装置を小型化できるといふ効果がある。また、同じく共振器 9 構造でスロットアンテナ 10 によりマイクロ波を放電するため、安定にマイクロ波を供給でき、その結果安定にプラズマを生成できるという効果がある。さらに、共振器 9 を円形 TE<sub>01</sub> モード用共振器とし、図 4 に示すように放射状の円形 TE<sub>01</sub> モード用スロ

ットアンテナ10を使用し、スロットアンテナ10と石英窓2の間に一定間隔を設けることにより、円形TE<sub>01</sub>モードのマイクロ波を処理室1内に入射できるので、より均一なプラズマを生成することも可能である。

【0017】本発明の第4の実施例を図5により説明する。本実施例では、先の実施例でマイクロ波の伝送方向を変更するため使用していた導波管5のコーナ部をなくし、共振器9と導波管5aとの間に結合窓11を設け、マイクロ波を伝送するようにしたものである。本実施例によれば、導波管5のコーナ部をなくすことができるのでさらに装置の小型化が可能であるという効果がある。

【0018】本発明の第5の実施例を図6により説明する。本実施例では、高周波電源12により生成された高周波電圧を整合器13を介して共振器9に供給している。高周波電源12には0.5GHzの周波数を使用しており、高周波電源12と整合器13及び整合器13と共振器9とは同軸構造14（本実施例の場合同軸ケーブル）により接続されている。また、同軸構造14により伝送された高周波電圧は、アンテナ15により共振器9と結合され、マイクロ波に変換された後、処理室1内に入射される。本実施例では、さらに装置を小型化できるという効果がある。

【0019】本発明の第6の実施例を図7により説明する。本実施例では、マグネトロン4より発したマイクロ波を一度、同軸構造14（本実施例の場合同軸ケーブル）により伝送し、再び共振器9内でアンテナ15によりマイクロ波に変換し、処理室1内に入射している。本実施例においても装置を小型化できるという効果がある。

【0020】また上記各実施例では、有磁場ドライエッ

チング装置について述べたが、その他のマイクロ波を利用したドライエッチング装置、プラズマCVD装置、アッシング装置等のプラズマ処理装置についても、同様の作用効果が得られる。

【0021】

【発明の効果】本発明によれば、マイクロ波の伝送部を小型にすることが可能なプラズマ処理装置を提供できるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例の有磁場マイクロ波ドライエッチング装置の処理室部の縦断面図である。

【図2】本発明の第2の実施例の有磁場マイクロ波ドライエッチング装置の処理室部の縦断面図である。

【図3】本発明の第3の実施例の有磁場マイクロ波ドライエッチング装置の処理室部の縦断面図である。

【図4】図3のスロットアンテナを上部より見た図である。

【図5】本発明の第4の実施例の有磁場マイクロ波ドライエッチング装置の処理室部の縦断面図である。

【図6】本発明の第5の実施例の有磁場マイクロ波ドライエッチング装置の処理室部の縦断面図である。

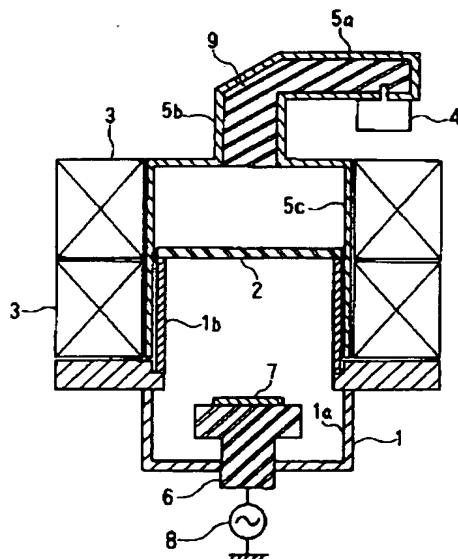
【図7】本発明の第6の実施例の有磁場マイクロ波ドライエッチング装置の処理室部の縦断面図である。

【符号の説明】

1…処理室、1a…容器、1b…放電管、2…石英窓、3…コイル、4…マグネトロン、5a、5b、5c、5d…導波管、6…試料台、7…ウエハ、8…高周波電源、9…誘電体、10…スロットアンテナ、11…結合窓、12…高周波電源、13…整合器、14…同軸構造、15…アンテナ。

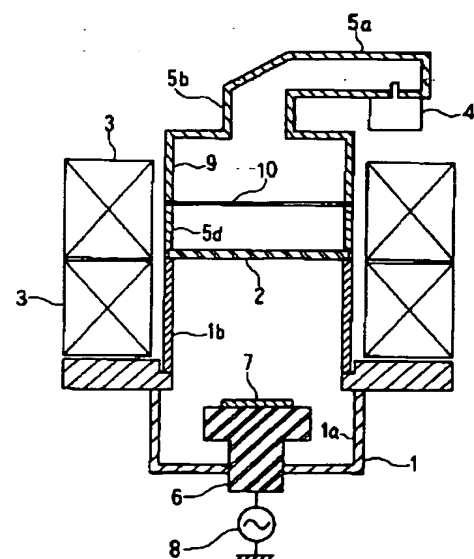
【図2】

図2



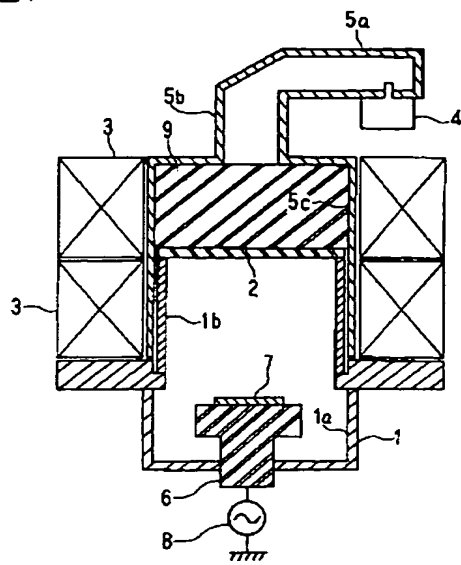
【図3】

図3



【図1】

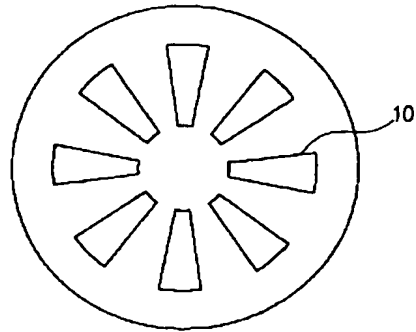
図1



- 1…処理室  
1a…容器  
2…石英窓  
5a, 5b, 5c…導波管  
6…試料台  
9…誘電体

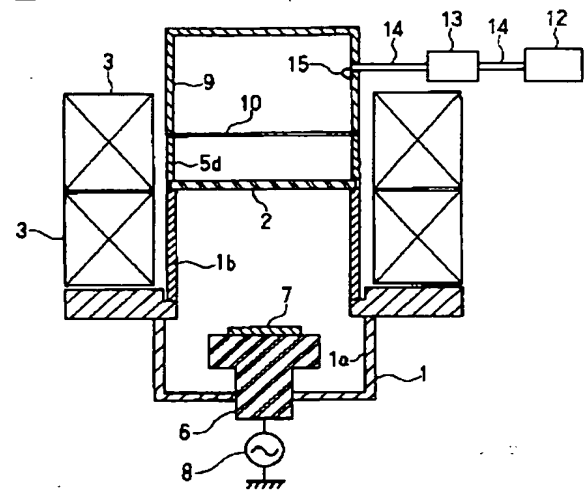
【図4】

図4



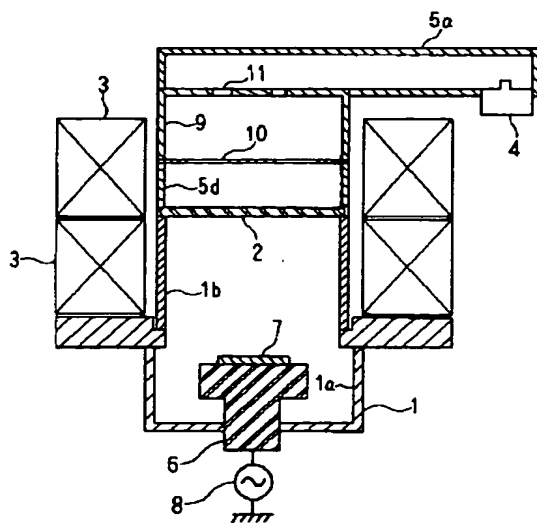
【図6】

図6



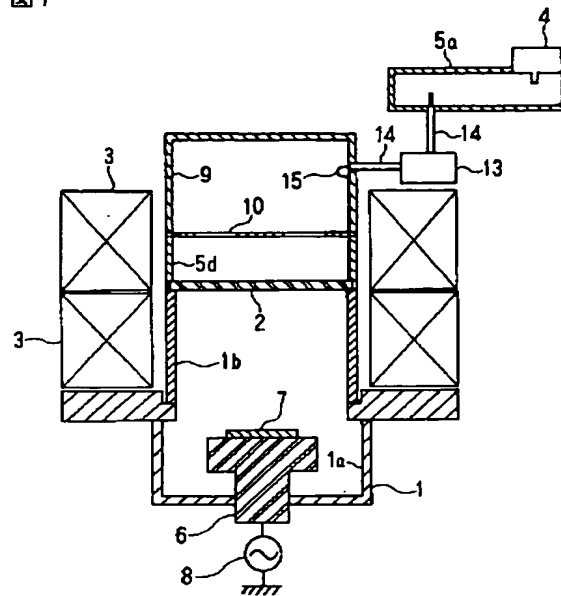
【図5】

図5



【図 7】

図 7



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 6

H 0 1 L 21/3065

21/31

H 0 1 P 7/06

H 0 1 Q 13/10

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

- (19) Japanese Patent Office (JP)  
(12) Laid-Open Patent Gazette (A)  
(11) Patent Application Laid-Open No. 7-263186  
(43) Laid-Open Date: October 13, 1995  
(51) Int. Cl. H05H 1/46  
C23F 4/00  
H01L 21/205  
(21) Application No. 6-46821  
(22) Application Date: March 17, 1994  
(71) Applicant: Hitachi, Ltd.  
4-6, Kandasurugadai, Chiyoda-ku, Tokyo  
(72) Inventor: Seiichi Watanabe  
c/o Machine Research Laboratory of Hitachi, Ltd.  
502, Kandachi-cho, Tsuchiura-shi, Ibaragi-ken  
(72) Inventor: Muneo Furuse  
c/o Machine Research Laboratory of Hitachi, Ltd.  
502, Kandachi-cho, Tsuchiura-shi, Ibaragi-ken  
(72) Inventor: Shigeru Shirame  
c/o Machine Research Laboratory of Hitachi, Ltd.  
502, Kandachi-cho, Tsuchiura-shi, Ibaragi-ken  
(74) Agent: Patent Attorney Masao Ogawa

(54) [TITLE OF THE INVENTION] PLASMA PROCESSING SYSTEM

(57) [ABSTRACT]

[CONSTITUTION] A plasma processing system using microwaves is constituted such that a dielectric 9 with a dielectric constant larger than 1 is provided in the whole or a part of a cross section perpendicular to the microwave transmitting direction of a waveguide 5.

[EFFECT] Since the wavelength of microwaves in the dielectric becomes  $1/\sqrt{\epsilon_r}$  time of the wavelength of microwaves in air, the microwave transmission section can be made small.

[Claim(s)]

[Claim 1] A plasma processing system comprising a plasma generation device using microwaves, a pressure-reducible processing chamber, a gas supply device, and an evacuation device, wherein a dielectric with a dielectric constant larger than 1 is provided in the whole or a part of a cross section perpendicular to the microwave transmitting direction of a waveguide.

[Claim 2] The plasma processing system according to claim 1, wherein the dielectric is a liquid or a flowable solid.

[Claim 3] The plasma processing system according to claim 1, wherein the frequency of microwaves of the plasma generation device using microwaves is 0.2-1.2 GHz.

[Claim 4] A plasma processing system comprising a plasma generation device using microwaves, a pressure-reducible processing chamber, a gas supply device, and an evacuation device, wherein a dielectric with a dielectric constant larger than 1 is provided in a waveguide with a cavity of a size incapable of transmitting microwaves of the frequency used for plasma generation, thereby enabling transmission of the microwaves inside the waveguide.

[Claim 5] The plasma processing system according to claim 4, wherein the dielectric is a liquid or a flowable solid.

[Claim 6] The plasma processing system according to claim 4, wherein the frequency of microwaves of the plasma generation device using microwaves is 0.2-1.2 GHz.

[Claim 7] A plasma processing system comprising a plasma generation device using microwaves of a frequency of 0.2-1.2 GHz, a pressure-reducible processing chamber, a gas supply device, and an evacuation device, wherein a slot antenna is provided in a part of a wall surface of a microwave cavity resonator, and a plasma is generated by microwaves radiated



from the slot antenna.

[Claim 8] A plasma processing system comprising a plasma generation device using microwaves of a frequency of 0.2-1.2 GHz, a pressure-reducible processing chamber, a gas supply device, and an evacuation device, wherein microwaves of a  $TE_{01}$  mode are introduced into the processing chamber to generate a plasma.

[Claim 9] A plasma processing system comprising a plasma generation device using microwaves of a frequency of 0.2-1.2 GHz, a pressure-reducible processing chamber, a gas supply device, and an evacuation device, wherein a waveguide or resonator connected to the processing chamber is connected to a matching box with a coaxial structure, or a matching box is connected to a power source for generating microwaves with a coaxial structure.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to a plasma processing system, and more particularly to a plasma processing system suitable for etching, film formation or the like by use of a plasma for a sample such as a semiconductor device substrate, etc.

[0002]

[Description of the Prior Art] As described in, for example, Japanese Patent Application Laid-Open No. 3-238800, the prior art plasma processing systems using microwaves of a frequency lower than the frequency of 2.45 GHz specified as an industrial frequency were constituted such that microwaves were introduced into a processing chamber by a hollow waveguide to generate a plasma.

[0003]

[Problems to be Solved by the Invention] The prior art paid no

attention to the points of the wavelength of microwaves propagating through a waveguide and the size of a cross section perpendicular to the microwave transmitting direction of the waveguide. When using microwaves of a frequency lower than the usually used frequency of 2.45 GHz, the wavelength of the microwaves propagating inside a waveguide becomes larger than the wavelength of the microwaves with a frequency of 2.45 GHz. For this reason, there was a problem that the system became large in the microwave transmitting direction. Moreover, when microwaves of a frequency lower than the frequency of 2.45 GHz was used, there was also a problem the size of a cross section perpendicular to the microwave transmitting direction of the waveguide became large, as compared with the case of the waveguide which transmits microwaves with a frequency of 2.45 GHz.

[0004] An object of this invention is to provide a plasma processing system which can make the transmission section of microwaves small.

[0005]

[Means for Solving the Problem] In order to attain the above-mentioned object, a dielectric with a dielectric constant larger than 1 is provided at all or a part of a cross section perpendicular to the microwave transmitting direction of a waveguide.

[0006]

[Function] When the dielectric constant of a dielectric provided in a waveguide is defined as  $\epsilon_r$ , the wavelength of microwaves in the dielectric will become  $1/\sqrt{\epsilon_r}$  times the wavelength of the microwaves in air. Therefore, it is possible to miniaturize the microwave transmission section by providing a dielectric of  $\epsilon_r > 1$  in the waveguide.

[0007]

[Example] Hereafter, an example of this invention will be described with reference to Fig. 1. Fig. 1 shows a microwave dry etching system with a magnetic field which is an example of this invention. After evacuating the interior of a processing chamber 1 defined by a container 1a, a discharge tube 1b and a quartz window 2 with an evacuation device (now shown), an etching gas is introduced into the processing chamber 1 by a gas supply device (not shown), and a desired pressure is attained. In this example, the processing chamber 1 is within a region of a magnetic field generated by a coil 3. Microwaves of, for example, 0.915 GHz emitted from a magnetron 4 propagate inside a waveguide 5a, 5b, 5c, pass through the quartz window 2, and are incident on the processing chamber 1. A wafer 7 as a processed material laid on a sample base 6 is etched by the plasma generated by the microwaves. Moreover, in order to control the etching configuration of the wafer 7, a high frequency power source 8 is connected to the sample base 6 through a matching box (not shown) to apply a high frequency voltage.

[0008] In the case of this example, a dielectric 9 comprised of Teflon of a dielectric constant  $\epsilon_r=2.1$  is provided in the waveguide 5c. The wavelength of the microwaves in the dielectric 9 becomes  $1/\sqrt{\epsilon_r}=0.69$  time the wavelength in the case where the dielectric 9 is not provided in the waveguide 5c. For this reason, the size (the length in the microwave transmitting direction in this case) of the waveguide 5c can be shortened by 0.69 times by providing the dielectric 9 in the waveguide 5c. Besides Teflon, a dielectric with a dielectric constant larger than 1, for example, alumina ceramics ( $\epsilon_r=8.5$ ) or quartz ( $\epsilon_r=3.8$ ) may be used as the dielectric 9. According to this example, by providing the dielectric with a dielectric constant larger than 1 inside the

waveguide, the wavelength of microwaves in the dielectric becomes  $1/\sqrt{\epsilon_r}$  times, thus exhibiting the effect that the microwave transmission section can be made small to that degree.

[0009] A second example of this invention is described referring to Fig. 2. In this example, a dielectric 9 of Teflon with a dielectric constant  $\epsilon_r$  larger than 1 is provided in the waveguide 5a and 5b. This results in the same effect as the first example that the microwave transmission section can be made small. Moreover, it is possible to make small the cut off frequency of the waveguide by providing the dielectric 9 in the waveguide 5a and 5b. For example, the cut off frequency  $f_c$  of microwaves in a  $TE_{nm}$  mode in a rectangular waveguide whose lengths of each side of the cross section of the waveguide 5a and 5b are a and b is defined as follows.

[0010]

[Equation 1]

$$f_c = 1/(2\pi\sqrt{\epsilon\mu})\{(n\pi/a)^2 + (m\pi/b)^2\}^{1/2} \quad \dots \text{Equation 1}$$

[0011] Here,  $\epsilon$  is a dielectric constant and  $\mu$  is a permeability. Since  $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$  when the dielectric constant in vacuum is defined as  $\epsilon_0$ , if a dielectric with a dielectric constant  $\epsilon_r$  is provided in a waveguide, the cut off frequency  $f_c$  will become  $1/\sqrt{\epsilon_r}$  times. Therefore, since the cut off frequency becomes  $1/\sqrt{\epsilon_r}$  times by provision of a dielectric, there are cases where those microwaves which cannot be transmitted due to their frequency smaller than the cut off frequency in the absence of the dielectric can be transmitted in the presence of the dielectric, namely, the cross section of a waveguide can be made small by providing a dielectric. In other shapes of waveguides such as a circular waveguide, the cross section can also be made small by providing a dielectric as in the case with a rectangular waveguide.

Moreover, although the above-mentioned example is directed to the case where a dielectric was provided in all of a cross section perpendicular to the microwave transmitting direction of a waveguide, the dielectric may be provided in a part of the cross section. Furthermore, although a solid dielectric was used in the above-mentioned example, a non-polarizable liquid dielectric, for example, silicone oil ( $\epsilon_r=2.2$ ) may be used. For a portion having a moving part such as a 3 stub tuner or EH tuner, use of a liquid dielectric is convenient. [0012] A third example of this invention will be described with reference to Figs. 3 and 4. When using microwaves with a frequency of 0.2-1.2 GHz, since the wavelength of the microwaves becomes longer than that when using 2.45 GHz (for the wavelength in infinite space, in 0.2 GHz, it becomes 22 times, and in 1.2 GHz it becomes 2.04 times), the miniaturization of the microwave transmission section is important practically. Moreover, it is difficult to transmit microwaves of a frequency of 0.2 GHz or less by use of a waveguide because of a large attenuation, and it is practically preferable (for attaining uniformity) that the diameter of the wafer 7 is less than the diameter of the discharge tube 1b.

[0013] In the case of a circular waveguide, the cut off frequency  $f_c$  is defined as follows using the radius of a waveguide  $a$  and the speed of light  $c$ .

[0014]

[Equation 2]

$$f_c = (u_{nm}'c)/(2\pi a) \quad \dots \text{Equation 2}$$

[0015] Here,  $u_{nm}'=1.841$  in the case of a  $TE_{11}$  mode. When the diameter of the wafer 7 is 6 inches and the diameter of the discharge tube 1b corresponds to 6 inches or more, those microwaves which can propagate only in a circular  $TE_{11}$  mode

need to have a frequency of 1.2 GHz or less. Therefore, it is desirable to use microwaves with a frequency of 0.2-1.2 GHz.

[0016] In the case of this example, microwaves with a frequency of, e.g., 0.915 GHz oscillated from the magnetron 4 propagate inside the waveguide 5a, 5b, and are introduced into the resonator 9. A slot antenna 10 shown in Fig. 4 is provided in the bottom surface of the resonator 9. The microwaves emitted from the slot antenna 10 passes through the waveguides 5d and the quartz window 2 and are incident on the processing chamber 1, so that a plasma is generated. Since this example has the resonator 9 structure, there is the effect that the system can be miniaturized in the microwave transmitting direction. Moreover, since the microwaves are discharged by the slot antenna 10 in the resonator 9 structure, the microwaves can be supplied stably, so that the plasma can be generated stably. Furthermore, by using a resonator for the circular  $TE_{01}$  mode as the resonator 9, using the radial slot antenna 10 for the circular  $TE_{01}$  mode as shown in Fig. 4, and preparing a given distance between the slot antenna 10 and the quartz window 2, incidence of microwaves in the circular  $TE_{01}$  mode into the processing chamber 1 can be carried out, thus enabling generation of a more uniform plasma.

[0017] A fourth example of this invention will be described by referring to Fig. 5. In this example, the corner section of the waveguide 5 which was used to change the transmitting direction of microwaves in the previous examples is omitted, and a joint aperture 11 is provided between the resonator 9 and the waveguide 5a such that microwaves are transmitted. According to this example, since the corner section of the waveguide 5 can be omitted, there is the effect that further miniaturization of the system is possible.

[0018] A fifth example of this invention will be described by referring to Fig. 6. In this example, a high frequency voltage generated by the high frequency power source 12 is supplied to the resonator 9 through the matching box 13. The frequency of 0.5 GHz is used for the high frequency power source 12, and the connections between the high frequency power source 12 and the matching box 13 and between the matching box 13 and the resonator 9 are effected by a coaxial structure 14 (in the case of this example, a coaxial cable). Moreover, the high frequency voltage transmitted by the coaxial structure 14 are coupled with the resonator 9 by the antenna 15 and is changed into microwaves, which are then incident into the processing chamber 1. This example has the effect that the system can further be miniaturized.

[0019] A sixth example of this invention will be described by referring to Fig. 7. In this example, microwaves generated by the magnetron 4 are transmitted by the coaxial structure 14 (in the case of this example, a coaxial cable), and are again converted to microwaves in the resonator 9 with the antenna 15, which are then incident into the processing chamber 1. This example also has the effect that the system can be miniaturized.

[0020] Although the above examples are described by referring to the dry etching systems with a magnetic field, the same function and effect can be obtained for plasma processing systems such as other microwave dry etching systems, plasma CVD systems, and ashing systems.

[0021]

[Effect of the Invention] According to this invention, there is obtained the effect that plasma processing systems can be provided which can make the microwave transmission section small.

[Brief Description of the Drawings]

[Fig. 1] is a longitudinal sectional view of a processing chamber section of a microwave dry etching system with a magnetic field of a first example of this invention.

[Fig. 2] is a longitudinal sectional view of a processing chamber section of a microwave dry etching system with a magnetic field of a second example of this invention.

[Fig. 3] is a longitudinal sectional view of a processing chamber section of a microwave dry etching system with a magnetic field of a third example of this invention.

[Fig. 4] is a plan view of the slot antenna of Fig. 3.

[Fig. 5] is a longitudinal sectional view of a processing chamber section of a microwave dry etching system with a magnetic field of a fourth example of this invention.

[Fig. 6] is a longitudinal sectional view of a processing chamber section of a microwave dry etching system with a magnetic field of a fifth example of this invention.

[Fig. 7] is a longitudinal sectional view of a processing chamber section of a microwave dry etching system with a magnetic field of a sixth example of this invention.

[Description of Reference Numerals]

1 ... processing chamber, 1a ... container, 1b ... discharge tube, 2 ... quartz window, 3 ... coil, 4 ... magnetron, 5a, 5b, 5c, 5d ... waveguide, 6 ... sample base, 7 ... wafer, 8 ... high frequency power source, 9 ... dielectric, 10 ... slot antenna, 11 ... joint aperture, 12 ... high frequency power source, 13 ... matching box, 14 ... coaxial structure, 15 ... antenna.